

학생들이 제시한 질문의 유형 분석을 통한 개방적 탐탐구 활동의 인지적 추론 측면의 효과

김미경¹ · 김희백^{*}

¹한성과학고등학교 · 서울대학교

The Effects of Authentic Open Inquiry on Cognitive Reasoning through an Analysis of Types of Student-generated Questions

Kim, Mi-Kyung¹ · Kim, Heui-Baik^{*}

¹Hansung Science High School · Seoul National University

Abstract: The purpose of this study was to investigate if students may actually experience scientific reasoning based on an epistemology of authentic science during authentic open inquiry. The samples were 86 10th graders in a science-high school in Seoul. The experimental group practiced authentic open inquiry and the control group practiced traditional school science inquiry in five weeks. Then, the questions students asked while performing inquiry tasks were analyzed. The frequency of the questions asked by students was almost same between two groups, however, the types of questions were different. The frequency of thinking questions in experimental group was higher than the control, and the difference was statistically significant ($p < .01$). Particularly, the frequency of expansive thinking questions and anomaly detection questions was much higher in experimental than the control group. Judging from the result, with the students from the experimental group asking questions reflecting on the epistemology of authentic science such as scientific methods, anomalous data, and uncertainty about reasoning, students may understand authentic science features during the activities of open authentic inquiry. The result from comparing questions according to the inquiry subject showed that more openness caused the higher frequency of anomaly detection questions and strategy questions, but that inductive thinking questions and analogical thinking questions were connected to inquiry subject rather than the openness of the inquiry.

Key words: characteristics of authentic science, authentic open inquiry, traditional school science inquiry, question, scientific reasoning

I. 서론

과학의 본성에 대한 이해는 학교 과학 교육의 주요 목표 중 하나로 제시되어 왔으며(AAAS, 1993; NRC, 1996, 2000), 이를 위해 탐구 기반 학습을 비롯한 여러 교수 학습 방법이 제안되고 있다. 특히 탐구 교수 전략은 과학자들이 연구해가는 방법과 아주 유사하기 때문에 과학의 본성을 학습할 수 있는 수단으로 강조되고 있다(Akerson & Hanuscin, 2007). 탐구는 관찰하기, 질문 제기하기, 이미 알려진 것을 알아보기 위해 책과 다른 자료들을 검토하기, 연구를 계획하기, 이미 알려진 것을 실험적인 증거에 비추어 재검토하기, 자료

를 수집하고 분석하고 해석하기 위해 도구 사용하기, 해답, 설명, 예측을 제안하기, 그리고 결과 교류하기를 포함하는 다면적 활동이다(NRC, 1996). 이러한 탐구 활동을 통해 학생들은 과학 개념을 효과적으로 습득할 수 있고, 과학적 탐구 방법을 학습할 수 있으며, 과학의 본성에 대한 이해를 증진시킬 수 있다(Abd-El-Khalick, 1998; NRC, 2000). 미국 국가과학교육기준(NRC, 1996)과 2061 프로젝트(AAAS, 1993)에서도 과학적 소양 달성에 있어서 탐구가 중심임을 재확인하였다.

그런데 현재 학교 과학에서 이루어지는 탐구들은 학생 자신이 질문하고 그 질문에 대한 답을 얻기 위한 탐구가 아니라(김재우, 오원근, 2002), 연구할 질문이 교

*교신저자: 김희백(hbkim56@snu.ac.kr)

**2007.10.05(접수) 2007.11.04(1심통과) 2007.12.11(2심통과) 2007.12.25(최종통과)

사에 의해 주어지고, 어떤 도구를 사용하여 어떤 데이터를 얻을 것인지, 데이터를 어떻게 조직할 것인지도 교사에 의해 제공되며, 실험이 잘못 되었을 때 반복 실험을 할 수 있는 시간도 부족하고, 결과를 다른 탐구자들에 의해 비판받지도 않으며, 정확한 답이 이미 정해져 있다(AAAS, 1993). 이러한 학교 탐구는 학생들에게 과학지식이 완전한 듯한 인상을 심어주게 되며 탐구를 지나치게 단순화시켜 알고리즘적인 형태로 학습하게 하므로, 학생들에게 과학적 추론이 실제-세계의 사 결정과 관계없는 것으로 여기도록 하여 과학에 대한 잘못된 인식론을 가지게 한다. Chinn과 Malhotra (2002)는 이러한 문제가 학교 탐구 과제들이 실제 과학의 인식론과는 다른 인식론에 기초하는데서 기인하는 것이라 보고, 연구의 목적, 이론-데이터 통합, 방법의 이론의존성, 변칙데이터에 대한 반응, 추론의 본성, 지식의 사회적 구성 차원에서 실제 과학의 인식론과 학교 탐구의 인식론을 비교하였다. 그 결과 학교 탐구에서는 과학의 복잡성, 불확실성, 이론의존성, 연구의 다양한 형태 등과 같은 실제 과학의 인식론과는 많은 차이가 있음을 확인하였고, 학교 탐구에서 실제 과학의 인식론, 즉 과학의 본성을 좀 더 잘 반영하는 새로운 탐구 과제를 개발할 필요성을 제안하였다.

실제 과학자들이 수행하는 형태의 과학, 즉 참과학의 특성이 학교 과학 탐구에서 잘 반영되도록 하기 위해서는 학생들 스스로가 탐구 문제를 설정하여 탐구 활동을 수행하게 하는 형태가 바람직하다고 지적(Roychoudhury & Roth, 1996)된 바 있다. ‘개방적 탐구’는 학생들이 자신들의 질문을 개발하고 연구를 설계하는 것으로 (Windschittl, 2003) 이러한 점을 해결하기 위해 제시되는 디안 중의 한 형태이다(Zion et al., 2004). 특히 학생들이 실생활 소재로 탐구를 수행하고, 자신들의 연구 질문을 선택할 수 있고, 변인설정과 변인통제에 대해 고민하고, 적절한 실험 방법 및 정확한 측정으로 고민한다는 점에서 과학자들의 참탐구와 유사하다(Chin & Chia, 2005). 그러나 개방적 탐구는 과제 수행의 개방성에 초점을 두고 있어서 지식 구성의 사회적 측면에 대한 안배가 없고(김희경, 2003), 과학적 추론의 중요성을 강조하지 않기 때문에 과학자들의 활동과 비교하여 인식론적으로 부족한 측면이 있을 수 있다(Zion et al., 2004). 따라서 기존의 개방적 탐구에 추론의 복잡성과 불확실성, 관찰의 이론의존성, 지식의 사회적 구성 등 참과학의 인식론적 요소를 추가할 필요성이 제기된다. 이를 위해서는 잘 정의되지 않는 문제로 탐구하고 복잡한 변인을 통제하고, 정해진 답이 없는 탐구

를 통해 학생들이 복잡한 추론과 불확실성을 경험하도록 해야 한다. 하지만 참과학의 복잡성과 시간상의 제약 등 현실적인 문제점들이 실제 학교 현장에서의 참과학 활동 실행에 걸림돌이 될 수 있다(Chinn & Malhotra, 2002).

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하고 학교 현장에서의 실행을 목표로 개발된 ‘개방적 참담구 활동’을 수행함에 따라 실제로 참과학의 인식론적 특징이 나타나는지 알아보려고 하였다. 개방적 참담구 활동은 Chinn과 Malhotra(2002)의 ‘참과학 인지과정’의 분석을 토대로 참과학의 인지적 특성을 반영하면서 학생들에게 참과학 탐구의 기회를 제공하도록 개발되었다. 탐구를 수행하는 동안 학생들의 인지과정을 살펴보기 위하여 학생들이 제기한 질문들을 조사·분석하였다. 질문을 하는 행위가 학생들의 사고 과정을 자극하기 때문에 학생 질문 속에 그 생각이 반영되므로(Maskill & de Jesus, 1997) 질문을 통해 탐구과정에서 학생들의 사고를 살펴볼 수 있으며, 이명숙 등(2004)은 탐구활동에서 학생들의 질문유형과 빈도를 고려한 분석틀이 학교 실험의 개방성을 평가하는 대안 도구로 사용될 수 있음을 제안한 바 있다. 이에 따라 본 연구에서는 탐구 수행 과정에서 제기되는 학생 질문의 유형과 빈도 분석을 통해 개방적 참담구 활동 수행에서 나타나는 학생들의 사고 특성을 분석해 보고 참과학의 어떤 인식론적 특징이 나타나는지 알아보았다.

본 연구의 연구 질문은 다음과 같다.

- 개방적 참담구 활동 수행 시 제기되는 학생들의 질문은 어떤 사고 특성을 나타내는가?
- 개방적 참담구 활동 수행에서 어떤 인식론적 특성이 나타나는가?

II. 연구의 방법 및 절차

개방적 참담구 활동에서 나타나는 인식론적 특성을 살펴보기 위해, 참담구 활동에 참여한 학생들과 전통적 학교 탐구 활동에 참여한 학생들의 탐구 수행 과정에서 제기되는 질문을 수집하여 사고의 차이를 비교 분석하였다.

1. 연구대상 및 수업 진행

이 연구는 서울시 소재 과학고등학교 1학년 4개 학급의 86명의 학생들을 대상으로 4주 동안 세 주제의 프로그램을 생물 교과 시간에 적용하였다. 개방적 참담구 활동을 학교 현장에서 실행하는 데에는 최소한 2시

간 이상의 시간이 소요되고 준비의 번거로움이 수반되므로, 연속 수업이 가능하고 커리큘럼 상 실험에 대한 비중을 높이는 것이 가능한 과학 고등학교 학생들을 대상으로 적용하였다. 학생들은 두 집단으로 나누어 실험집단($n=43$)은 개방적 참탐구 활동을 수행하였고 비교집단($n=43$)은 전통적인 학교 탐구 활동, 즉 주어진 방법에 따라 실험을 수행하는 형태로 진행하였다. 두 집단 모두 ‘반투과성막을 이용한 삼투현상 관찰’, ‘감자의 삼투압 측정’, ‘효소 실험’ 세 주제의 실험을 3-4 명씩 조별활동으로 수행하였다.

과학자들이 수행하는 참탐구의 특성을 반영하기 위해서는 모든 활동이 개방적으로 이루어져야 하지만, 그동안 주어진 방법에 따라 탐구하는데 익숙한 학생들에게 처음부터 모든 활동을 실제 과학자들의 탐구처럼 수행하도록 하는 데에는 어려움이 있을 수 있다. 이에 따라 Schwab(1962)의 실험수업에서의 개방도 수준(수준 1: 탐구문제와 탐구 방법을 제시하고 학생들 스스로 관련성을 발견하게 하는 방법을 제공, 수준 2: 탐구문제는 주지만 방법을 학생들이 고안, 수준 3: 탐구문제

를 주지 않고 현상을 제시하며 학생들이 자신들의 탐구문제를 생성·증거수집·자신들의 연구에 기초하여 설명 제안)을 고려하여, 실험집단의 학생들이 처음에는 개방도가 낮은 탐구를 수행하도록 하고 점차 개방도를 높여가도록 하였다(Chiappetta & Koballa, 2006).

2. 개방적 참탐구 활동 프로그램

인식론적으로 참과학 탐구에 기초한 ‘개방적 참탐구 활동’ 프로그램은 Chinn과 Malhotra (2002)의 ‘참과학 인지과정의 분석’을 토대로 개발되었으며, 개방적 참탐구 활동에 내포된 참과학의 인지과정에 대한 조작적 정의는 다음과 같다(표 1).

그리고 실험집단과 비교집단이 수행했던 탐구의 내용 및 각 탐구에 내포된 인지과정은 표 2와 같다.

3. 데이터 수집

두 집단의 학생들에게 탐구 과정이나 보고서 작성 시 떠올랐던 질문들을 보고서에 기록하도록 사전에 예

표 1
개방적 참탐구 활동에 내포된 인지 과정의 조작적 정의

인지 과정	조작적 정의	예시
자신들의 연구 문제 산출	학습자들에게 연구 문제를 주지 않고 자신들이 개발하게 함	식물에서 효소의 작용을 비교해보기 위한 조별 연구 질문을 고안
변인 선택	관련 변인이 무엇인지 학습자들에게 정확하게 말하지 않고 학습자들이 스스로 자신들의 변인을 선택하게 함	삼투현상에 영향을 미치는 변인을 선택하고, 그것들을 조작했을 때 나타나는 결과의 차이를 측정하는 방법을 고안
복잡한 변인 통제	학습자들은 명백하지 않은 변인에 대해서 관심을 가져야 함	삼투현상으로 인한 물의 변화량 측정 시 여러 가지 변인에 대한 통제 고려
다양한 관찰	학습자들은 다양한 변인을 측정하고 측정된 것을 평가	기질의 농도나 기질의 양에 따른 발효량의 차이 관찰
간접변인 관찰	학습자들은 간접 변인들을 측정하거나 측정된 것을 평가	삼투현상이 일어날 때 기압 등에 의한 삼투평형을 검토
비유모델 사용	학습자들은 실제 상황을 나타내기 위해 고안된 단순화된 비유모델로 연구를 수행	감자의 삼투압 측정을 위해 등장액을 찾고 이것으로부터 삼투압을 계산
관찰결과의 복잡한 전환	학습자들은 원데이터로부터 평균값을 구하거나, 표그래프 이상의 방법으로 관찰 결과를 전환	여러 농도의 용액에 대한 감자의 질량변화 그래프를 그리고 등장액을 찾음
방법상의 오류찾기	학습자들은 자신들이 설계하거나 해석한 연구 방법에서 가능한 실험 오류에 관해 추론	실험 전 예상했던 것과 실험 결과에서의 차이가 어디서 생긴 것인지 생각해보م
메커니즘에 대한 이론 개발	학습자들은 실험결과를 설명하는 메커니즘에 관한 이론을 개발하고 검증	발효 실험에서 기체발생량을 계산하기 위해 효소의 반응식을 이용
다른 유형의 다양한 연구들	학습자들은 여러 가지 다른 유형의 연구를 수행	효소의 특성을 알아보기 위해 다양한 재료를 이용하여 다양한 방법으로 실험
전문가 연구 보고서 조사	학습자들은 과학자들이 쓴 연구보고서나 그 연구에 관한 요약본, 인터넷상의 자료들을 조사	실험의 이론적 배경을 조사하여 결론 도출 시 타당성을 높이도록 함

고한 후, 보고서 양식에 질문을 적는 칸을 따로 마련하여 기록하게 하였다. 실험집단과 비교집단 모두 보고서는 개별적으로 작성하여 제출하도록 하였다.

4. 질문의 유형 및 빈도 분석

학생들이 보고서에 기록한 질문의 분석은 Chin 등 (2002)이 탐구 과정에서 제기된 학생들의 질문을 구분

표 2
실험집단과 비교집단이 수행한 탐구의 특성 비교

실험	집단	탐구 내용	탐구에 내포된 인지과정
실험 1 반투과성막을 이용한 삼투현상 관찰	실험집단	교사에 의해 반투과성 셀로판 튜브의 사용법 안내를 받은 후 학생들이 조작변인과 종속변인을 선택하여 실험하도록 하는 수준 2의 개방적 탐구	변인선택, 다양한 관찰, 간섭변인 고려, 관찰결과 전환, 오류 찾기, 다양한 연구
	비교집단	용액의 농도에 따른 삼투현상의 차이를 주어진 방법에 따라 수행	단순 변인통제, 관찰결과의 단순전환, 오류 찾기
실험 2 감자의 삼투압 측정	실험집단	준비된 실험용액을 이용하여 먼저 감자와 등장액인 용액을 찾아내고, 반트호프의 공식($P=CRT$)을 적용하여 감자의 삼투압을 계산해 내는 실험. 교사는 실험의 주제와 준비물만 제시, 학생들이 준비물을 이용하여 감자의 삼투압을 계산할 수 있는 방법을 고안, 실험 설계·수행하도록 하는 수준 2의 개방적 탐구활동	변인선택, 복잡한 변인통제, 다양한 관찰, 간섭변인 고려, 비유모델 사용, 관찰결과 전환, 오류 찾기, 다양한 연구
	비교집단	주어진 방법에 따라 실험을 수행	단순 변인통제, 관찰결과의 단순전환, 오류 찾기
실험 3 효소 실험	실험집단	야채와 같은 일상생활 소재를 이용하여 효소와 관련된 탐구를 하는 완전히 개방적 탐구. 2주에 걸쳐 탐구를 수행하였고 첫 번째 주에 조별로 연구문제를 설정하도록 하고 연구문제에 따른 실험설계를 하도록 한 후, 두 번째 주에 자신들이 설계한 방법에 따라 실험을 수행(수준3)	연구문제 산출, 변인선택, 복잡한 변인통제, 다양한 관찰, 간섭변인 고려, 관찰결과 전환, 오류 찾기, 메커니즘에 대한 이론 개발, 다양한 연구들, 전문가 연구보고서 조사
	비교집단	시범실험에서 안내된 실험 장치를 활용하여 주어진 방법에 따라 야채들의 효소 활성을 비교	단순 변인통제, 관찰결과의 단순전환, 오류 찾기

표 3
학생들이 제기한 질문 유형 분류틀

	질문 유형	특징
정보 질문 (Basic information question)	사실질문 (Factual question)	정보의 단순 회상을 요구 단한 질문
	절차질문 (Procedural question)	주어진 과정을 명확하게 하거나 과제수행방법에 대한 질문 특히 과정이 주어졌을 때의 질문
	설명 질문 (Explaining question)	탐구 과정에서 원인, 원리 등을 이해하고자 설명을 구하는 질문 인과적 의문, 예측 등을 포함
사고 질문 (Wonderment question)	귀납적 질문 (Inductive thinking question)	귀납적 사고를 반영하는 질문 하나 또는 몇 개에 적용되는 인과경로가 범주 내의 모든 것에 적용
	유추적 질문 (Analogical thinking question)	유추적 사고를 반영하는 질문 한 범주에 적용되는 인과경로가 다른 범주에도 적용
	확장 질문 (expansive thinking question)	실험과 관련하여 사고의 확장을 반영하는 질문 새로운 실험 아이디어와 연결
	변칙탐지 질문 (Anomaly detection question)	예상한 것과 다른 실험 결과에 대한 질문
	계획(전략) 질문 (Planning or Strategy question)	선행 절차가 주어지지 않았을 때 다음 단계를 어떻게 하는 게 최선일까에 대한 의문

한 질문 분류틀을 이용하여 이루어졌으며, 질문 유형을 ‘정보 질문’과 ‘사고 질문’으로 수정하여(이명숙, 2003) 사용하였다. 사고 질문의 세부 유형 분석에서는 이 연구의 목적에 맞추어, 과학자들의 참탐구 과정에서 나타나는 인지과정(Chinn & Brewer, 1998)을 참고로 하여 다시 범주화하였다(표 3). 질문 유형에 대한 판정은 2명의 과학교육 전문가에 의해 이루어졌으며, 각자 따로 질문유형을 분석한 후 비교하여 일치도가 90% 에 이를 때까지 반복하였다. 비교집단과 실험집단의 질문에서 차이가 있는지 알아보기 위하여 질문의 유형별 빈도에 대한 χ^2 검증을 실시하였다.

III. 연구결과 및 논의

1. 개방적 참탐구 활동에서 나타나는 학생 질문의 유형 및 특징

개방적 참탐구 활동에서 나타나는 인식론적 특성을 살펴보기 위해, 두 집단의 학생들이 탐구 수행 과정에서 제기한 질문들을 유형별로 나누어 빈도 분석을 하였다.

1) 개방적 참탐구 활동과 전통적 학교 탐구 활동에서 제기된 학생들의 질문 비교

(1) 학생 질문의 유형별 빈도 비교

탐구를 수행하면서 실험집단과 비교집단의 학생들이 제기한 질문을 비교 분석해 본 결과는 다음과 같았다(표 4).

두 집단의 총 질문 빈도에서는 개방적 참탐구 활동을 수행한 실험집단에서 589개, 전통적인 학교 탐구를 수행한 비교집단에서 625개로 비교 집단 학생들이 제시한 질문의 수가 많았다. 그러나 정보의 단순한 회상을 요구하거나 과제 수행 방법과 관련된 ‘정보 질문’과 답을 얻기 위해 사고가 필요한 ‘사고 질문’으로 구분했을 때, 사고 질문의 빈도 및 비율이 실험집단에서 516개(총 질문의 87.61%), 비교집단에서 358개(총 질문의

57.28%)로 실험집단이 훨씬 높게 나타났다. 사고 질문의 비율이 높게 나타난 것은 개방적, 문제해결 활동에서 사고 질문의 비율이 높게 나타난 Chin 등(2002)의 연구 결과와 일치하며, 학생 중심의 능동적인 수업을 했을 때 질문의 수준이 향상된다는 Marbach-Ad와 Sokolove (2000)의 결과와도 일치하는 것이다. 이는 개방적 참탐구 활동 수행에서 단순한 정보를 구하기보다는 변인들 간의 관계를 설명하고 그 이유에 대해 추론해 보는 등 고차원적인 논의를 하도록 자극하여 학생들의 사고활동이 활발히 이루어졌음을(Chin et al., 2002) 의미하는 것이다. 또한 탐구 수행 시 사고 질문의 빈도가 높게 나타난 것은 개방적 참탐구 활동 프로그램의 타당성을 확인해 주는 것이라고도 할 수 있다(이명숙 등, 2004).

(2) 질문의 세부 유형별 빈도 비교

실험집단과 비교집단의 학생들이 제기한 질문을 세부 유형별로 구분한 결과는 표 5와 같고, 두 집단 간에 차이가 있는지 알아보기 위하여 χ^2 검증을 실시한 결과 세 실험의 질문에서 모두 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다.

(3) 두 집단에서 빈도가 높게 나타난 질문의 차이

질문의 세부 유형별 비교에서, 두 집단 모두 설명 질문이 가장 많이 나타났다(실험집단 43.46%, 비교집단 37.76%). 설명 질문은 인과 관계 파악을 목표로 하므로(Chin & Chia, 2004) 이러한 결과는 탐구를 수행하는 동안 인과적 사고가 많이 이루어지고 있음을 나타내며, 질문의 내용을 통해 볼 때 특히 실험 결과를 해석하는 동안 데이터 분석 과정에서 많이 이루어진 것을 알 수 있었다. 그런데 질문의 내용을 분석해보면 비교집단 학생들의 질문은 비교적 단순한 형태로 제기된 것이 많은 반면, 실험집단의 학생들이 제기한 질문은 보다 정교한 설명을 요하는 질문들이 많았다. 반투과성막의 삼투현상 실험에서 실험집단과 비교집단에서

표 4
실험집단과 비교집단 학생들의 질문 유형 비교 빈도(%)

	실험집단(n=43)			비교집단(n=43)		
	정보 질문 수	사고 질문 수	총 질문 수	정보 질문 수	사고 질문 수	총 질문 수
실험1	27(13.57)	172(86.43)	199	94(40.69)	137(59.31)	231
실험2	10(5.68)	166(94.32)	176	98(40.33)	145(59.67)	243
실험3	36(16.82)	178(83.18)	214	75(49.67)	76(50.33)	151
전체	73(12.39)	516(87.61)	589	267(42.72)	358(57.28)	625

표 5
실험집단과 비교집단 질문의 세부 유형별 비교 빈도(%)

		실험집단(n=43)	비교집단(n=43)	df	χ^2 값	p	
실험1	정보질문	사실 질문	17 (8.54)	32(13.85)	7	58.816	.000
		절차 질문	10 (5.04)	62(26.84)			
	사고질문	설명 질문	86(43.22)	90(38.96)			
		귀납적 질문	17 (8.54)	13 (5.63)			
		유추적 질문	11 (5.53)	3 (1.30)			
		확장 질문	28(14.07)	9 (3.90)			
		변칙탐지 질문	6 (3.02)	1 (0.44)			
		전략 질문	24 (2.06)	21 (9.09)			
소계	199(100)	231(100)					
실험2	정보질문	사실 질문	7 (3.98)	47(19.34)	7	90.328	.000
		절차 질문	3 (1.70)	51(20.99)			
	사고질문	설명 질문	85(48.30)	89(36.63)			
		귀납적 질문	13 (7.39)	26(10.70)			
		유추적 질문	11 (6.25)	13 (5.35)			
		확장 질문	17 (9.66)	4 (1.65)			
		변칙탐지 질문	8 (4.55)	3 (1.23)			
		전략 질문	32(18.18)	10 (4.12)			
소계	176(100)	243(100)					
실험3	정보질문	사실 질문	28(13.08)	46(30.46)	7	72.183	.000
		절차 질문	8 (3.74)	29(19.21)			
	사고질문	설명 질문	85(39.72)	57(37.75)			
		귀납적 질문	9 (4.21)	1 (0.66)			
		유추적 질문	7 (3.27)	8 (5.30)			
		확장 질문	31(14.49)	6 (3.97)			
		변칙탐지 질문	13 (6.07)	0 (0.00)			
		전략 질문	33(15.42)	4 (2.65)			
소계	214(100)	151(100)					
합계	정보질문	사실 질문	52 (8.83)	125(20.00)	7	195.111	.000
		절차 질문	21 (3.57)	142(22.72)			
	사고질문	설명 질문	256(43.46)	236(37.76)			
		귀납적 질문	39 (6.62)	40 (6.40)			
		유추적 질문	29 (4.92)	24 (3.84)			
		확장 질문	76(12.90)	19 (3.04)			
		변칙탐지 질문	27 (4.58)	4 (0.64)			
		전략 질문	89(15.10)	35 (5.60)			
소계	589(100)	625(100)					

제거한 질문의 예시는 다음과 같다.

실험집단 학생들의 질문은 두 변인 사이의 단순한 인과관계를 포함할 뿐 아니라, 이 관계를 검증하는 실험 설계의 제한 조건을 좀 더 상세히 언급하고 있으며 이는 실제 과학 탐구에서 고려해야 할 부분이다. 학생 질문 속에 그 생각이 반영된다(Maskill & de Jesus, 1997)는 측면에서 볼 때, 실험집단의 학생들의 정교한 설계를 요구하는 이와 같은 질문은 학생들이 좀 더 참

담구에 근접한 사고를 했음을 암시한다. 이것은 개방적 참담구 활동에서 학생들에게 직접 탐구를 설계하고 수행하도록 함으로써 학생들이 단순히 실험결과를 얻고 오차분석을 하는 형태로 사고하기보다는 실험결과를 예측하고 결과에 대한 원인을 구하는데 초점을 두어 사고하게 하는데서 기인한 것으로 보인다.

설명질문 다음으로 많이 나타난 질문은 실험집단에서는 전략질문(15.10%)과 확장질문(12.90%)인 반면에,

<실험집단>

- 어느 정도까지 삼투현상이 지속되는지? 용액이 들어있는 튜브를 증류수에 담귀 두면 항상 농도차가 존재하는 것이 아닌가?
- 튜브를 묶을 때 공기가 가득 차게 세게 묶으면 삼투압으로 들어오려는 물 분자에 압력을 가하게 되지 않을까?
- 반투과성 막에 접촉하는 증류수의 면적도 영향을 줄 텐데 이 영향을 최소화할 수는 없을까?
- 왜 저농도에서 고농도로 물이 이동하는가? 무엇이 물이 그쪽으로 가게 하는가? 고농도로 이동함에 따라 물 분자들이 어떤 변화를 얻는 것인가?
- 삼투압은 삼투현상을 막기 위해 작용하는 힘인데 어떻게 삼투현상이 일어날 수 있는가?

<비교집단>

- 반투막튜브를 계속 물에 담가 놓으면 어떻게 될까?
- 튜브안의 공기가 삼투압에 영향을 미치지 않을까?
- 반투과성막을 물에 반만 들어가게 할 때와 조금만 들어가게 할 때 어떤 차이를 가질까?
- 증류수의 양이 삼투현상에 어떤 영향을 미칠까?
- 반투과성막의 종류가 실험에 미치는 영향은 어느 정도일까?

비교집단에서는 절차질문(22.7%), 사실질문(20.0%) 순으로 나타났다. 비교집단에서 절차질문이 사실질문보다 조금 더 많이 나타난 것은 탐구과정이 주어지는 경우에는 학생들이 그 과정을 따라 하기 바쁘고 그 결과 절차 질문을 주로 한다는 Chin 등(2002)의 연구결과와 다소 일치하는 것이다. 하지만 전통적인 학교 탐구 수행 시 정보 질문이 대부분을 차지했던 이들의 연구 결과와는 달리, 비교집단에서도 총 질문 가운데 사고 질문(57.28%)이 정보 질문(42.72%)보다 조금 더 높은 비율로 나타났는데, 이것은 연구대상이 과학 고등학교 학생들인 것과 관련이 있는 것으로 보인다.

(4) 두 집단 간 사고 질문 비교

사고 질문의 세부유형 가운데 두 집단 간의 빈도차가 크게 나타난 것은 확장 질문, 변칙탐지 질문, 전략 질문이었다. 확장질문은 실험 내용으로부터 또 다른 영

역으로 사고의 확장이 이루어졌음을 반영하는 질문으로 실험집단에서 76개(총 질문의 12.90%), 비교집단에서 19개(총 질문의 3.04%)로 나타나 큰 차이를 보였다. 두 집단 간의 확장질문의 차이는 빈도 면에서 뿐만 아니라 내용면에서도 질적으로 큰 차이를 보였는데, 실험집단의 학생들이 제기한 확장 질문의 예시는 다음과 같다(표 6).

표 6의 예시질문에서 나타난 바와 같이 실험집단의 학생들은 실험을 수행하고 결과를 해석하면서 자신들이 알고 있는 지식들을 폭넓게 활용하였던 것으로 생각된다. 이는 학생들이 개방적 탐구 활동을 수행하면서 실험의 주제와 관련된 내용을 자신들이 이미 가지고 있던 지식에 연결하면서 사고의 범위를 넓혀가는 것을 보여준다. 따라서 탐구를 수행하는 동안에 자신들이 가지고 있던 지식들 간의 연결짓기(meaning)가 이루어지고 있는 것으로 볼 수 있으므로(White, 1996),

표 6

실험집단 학생들의 확장질문 예시

실험	사고의 확장을 반영하는 질문의 예시
반투과성막의 삼투현상 관찰	<ul style="list-style-type: none"> • (삼투현상에서) 물을 움직이는 힘의 근원은 무엇인가? • 반투과성 막을 물 분자가 그렇게 느리게 통과하는 것이 당연한 현상일까? 반투과성 막은 단순히 입자가 통과할 수 있는 구멍의 크기에 의존하는 것이 아닌가? 그렇다면 물 분자가 충분히 빨리 통과할 수 있지 않은가?
감자의 삼투압 측정	<ul style="list-style-type: none"> • (반투과성막이 용매 분자처럼 작은 분자들만을 통과시키는 지 어떻게 알 수 있나?) 분자의 운동을 직접 관찰할 수 있는 방법이 무엇일까? 분자의 운동을 직접 관찰할 수 없다면 분자의 존재 자체를 다시 생각해 볼 수도 있지 않을까? • 이 실험에서 감자의 물 농도를 구할 수 있는데, $P=CRT$로 감자의 분자량도 측정을 할 수 있다. $M=(w/PV) \times RT$. 하지만 이렇게 나타내는 감자의 분자량은 과연 옳은 것일까?
효소(식물의 뿌리, 줄기, 잎에서 단백질 소화효소 함량 비교 실험)	<ul style="list-style-type: none"> • 식물에 단백질 분해효소가 있는 이유가 무엇인가? • 식물체에 단백질이 존재하는가? • 식물에게 단백질이 필요한가? 단백질의 기능은 무엇인가? • 한 식물에 들어있는 단백질 소화효소는 모두 같은가?

개방적 탐탐구 활동 경험이 특정 개념에 대한 학생들의 지식에 의미를 더해 주는 데에도 도움이 될 수 있음을 보여준다. 특히 실험 3(효소 실험)에서는 학생들이 실험을 수행하면서 관련된 개념으로부터 사고를 확장하는 것에 그치지 않고 그 개념 자체에 대해 다시 생각해 보는 질문들이 발견되었다. 위 예시 질문에 나타난 것과 같이 야채속의 단백질 분해효소 함량을 비교하는 실험을 하면서 식물이 단백질 분해효소를 가지는 이유에 대해 생각해 보고, 나아가 식물체를 구성하는 성분으로서의 단백질과 그 기능에 대해 생각해 보는 등 자신이 알고 있던 지식들을 연결짓는 사고가 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다. 탐구 수행과정에서 이와 같은 탄성적인 사고가 이루어진 것은 학생들이 탐구 과정에서 자신들이 하고 있는 것들에 대해 잘 이해하고 있음을 나타내주므로(Berg *et al.*, 2003), 개방적 탐탐구 수행 시 반성적 질문이 발견되는 것은 매우 고무적인 현상이라 할 수 있겠다. 또한 탐구에서 사고의 확장은 학생들에게 탐구 동기를 유발하여 새로운 실험 아이디어로 연결될 수 있고, 서로 다른 영역 간의 지식을 연결시켜 다각적인 측면에서 문제에 접근하도록 함으로써 창의적인 문제해결력을 기르게 할 가능성도 있다.

변칙 탐지 질문은 예상한 것과 다르게 나타난 실험 결과에 대한 의문으로, 실험집단의 경우 27개가 나타난 반면, 비교집단에서는 4개만 나타났다. 변칙 데이터는 전통적인 학교 탐구에서는 제공되기 어려운 것이지만(Lee & Songer, 2003), 개방적 탐탐구 활동에서는 이러한 질문을 통해 학생들이 탐구를 수행하는 동안 종종 변칙데이터를 얻는 경험을 하였음을 알 수 있었다. 세 실험 가운데 학생들이 연구문제를 설정하여 탐구를 수행한 실험 3에서 변칙 탐지 질문의 빈도가 가장 높게 나타났다. 이것은 개방도가 높을수록 복잡한 변인통제, 간섭변인 등을 경험하는 것에서 기인하는 것으로 생각된다.

전략질문은 자신들이 설계한 실험을 수행하면서 실험방법에 대해 반성적인 사고를 하거나, 주어진 방법에 따라 실험하는 경우에도 자신들이 하고 있는 과정에 대한 반성적 사고를 반영하는 질문들이다. 실험집단에서 전략질문의 비율이 높게 나타난 것은 탐구를 수행하는데 있어서 탐구방법이 제시되지 않는 것과 관련이 있다고 생각되며, 특히 질문 내용을 통해 볼 때 자신들이 설계한 실험방법이 타당한지, 그런 방법에 의해 얻어진 데이터가 신뢰할 만한지에 대하여 반성적인 사고를 하는 질문들이 많았다. 이러한 사실은 개방적 탐탐구 활동에서는 학생들에게 과학자들이 하는 것처럼 연구 방

법에 대해 생각해볼 기회를 제공하고 학생들은 연구의 신뢰성을 높이기 위해 타당한 방법을 찾는 노력을 하고 있음을 암시하며, 과학연구의 다양한 형태에 대한 이해로 이어질 가능성을 나타낸다.

실험집단과 비교집단의 귀납적 사고와 유추적 사고를 반영하는 질문 비교에서는 두 집단 간에 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 실험 2(감자의 삼투압 측정)에서는 비교집단이 실험집단보다 귀납적 사고와 유추적 사고를 반영하는 질문의 빈도가 오히려 더 높게 나타났다. 이것은 이 실험이 등장액을 이용하여 감자의 삼투압을 계산해야 하는 실험 내용 상 다른 실험들에 비해 학생들의 사고가 많이 요구된 것과 관련된 것으로 보이는데, 두 집단 모두 세 실험 중 이 실험에서 사고 질문의 비율이 가장 높게 나온 것도 이러한 점을 뒷받침한다고 할 수 있겠다. 그러나 두 집단의 질문을 비교해 보면, 비교집단의 경우 질문의 빈도는 높지만 질문의 내용이 몇몇 가지로 제한되며 질문 형태도 단순한 반면에, 실험집단의 질문들은 비교집단보다 빈도는 낮았지만, 다양한 측면에서 제기된 질문들이었고 자신들이 이미 알고 있던 지식과 관련지어 가며 의문을 상세화시키고 있는 것을 볼 수 있었다. 다음은 실험집단과 비교집단에서 귀납적 질문과 유추적 질문의 내용을 비교한 것이다.

귀납적 사고는 과학의 중심 활동 중의 하나인 자연 현상에 대한 규칙성을 발견하게 하는 것이므로(Hamers *et al.*, 1998), 귀납적 사고를 반영하는 질문들이 구체적이고 상세하게 의문을 제기하는 형태로 나타나는 것은 새로운 연구로 이어질 가능성을 갖게 한다고 볼 수 있다. 따라서 개방적 탐탐구 활동은 학생들에게 자신들이 알고 있는 지식과 연결시키면서 새로운 연구로 발전시켜 나갈 가능성을 제공해준다고 할 수 있겠다. 이러한 결과는 개방적 탐탐구 활동이 학교 과학에서는 귀납적으로 사고할 기회가 부족하므로(김은숙·윤혜경, 1996) 실험결과나 관찰 사실에 대해 추론하는 과정을 경험하는 기회를 제공해야 한다는(권용주 등, 2003) 요구를 충족시킬 수 있음을 의미한다. 하지만 귀납적, 유추적 질문의 빈도가 낮게 나타난 사실은 개방적 탐탐구 활동에서 학생들이 보다 더 귀납적, 유추적인 사고를 많이 할 수 있도록 교사가 일정 역할을 해야 함을 암시한다. 학생들은 거의 자발적인 질문을 하지 않지만(Dillon, 1988), 교사의 도움으로 학생의 질문 기회를 높일 수 있을 뿐 아니라 학생들에게 궁금한 것들이나 더 알고 싶은 것들에 대해 질문할 시간을 주었을 때 사고 질문을 하는 것으로 나타났다(Chin *et al.*, 2002).

<실험집단>

- 막 수확한 감자와 오랜 시간동안 보관한 감자의 물농도는 같은가?
- (실험결과 감자의 삼투압이 19.4atm이 나왔는데, 과연 삼투압에 의한 물의 이동이 이렇게 강한 힘을 낼 수 있을까?) 모든 식물들이 이렇게 큰 삼투압을 가지고 있을 것인가?
- 감자 이외의 비슷한 저장 식물들의 열매를 가지고 (삼투압을) 구했을 때 비슷하게 나올까?
- 감자보다 고구마가 당도가 더 높다고 알고 있다. 만약 이 실험에서 감자대신 고구마를 실험에 사용한다면 어떤 결과가 나올까? 당도가 높은 것이 물농도가 높은 것일까? 또 그것이 삼투압에 얼마나 어떻게 영향을 미치게 될까? 우리가 느끼는 맛에 따른 농도의 정도를 배열한 것과 같은 순서대로 (삼투압 차이로) 배열될까?

<비교집단>

- 삶은 감자로 실험하면 어떻게 될까?
- 다른 종의 감자는 실험결과가 같은가?
- 식물의 종류에 따라 삼투압이 변하는가?
- 감자 말고 다른 곡류를 쓴다면 결과가 어떻게 달라질까?

이는 학생들이 질문하도록 추가적인 기회제공과 아울러 학생들의 사고와 질문을 촉진하는 교사의 전략이 필요함을 나타낸다.

실험집단과 비교집단의 탐구과정에서 제기된 질문들의 세부 유형별 분석에서 나타난 이상의 결과는, 개방적 탐구 활동을 수행하는 동안 학생들이 새로운 지식을 기존의 지식에 연결시키는 확장적 사고와 반성적 사고를 많이 하고, 과학 활동에 필수적인 귀납적·유추적 사고를 촉진시킬 가능성이 있음을 확인시켜 주었다.

2) 탐구 주제에 따른 질문 비교

학생들의 사고를 촉진시키는데 탐구 상황이 어떻게 관련이 되는지 알아보기 위하여 탐구 주제별로 학생들이 제기한 질문을 비교해 본 결과는 그림 1, 그림 2와

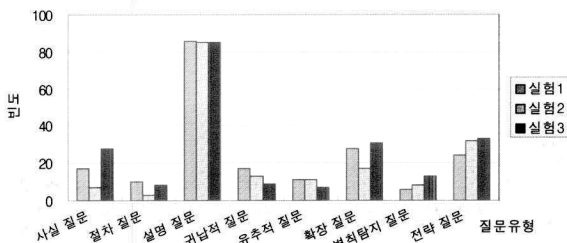


그림 1 실험집단의 탐구 주제별 질문 빈도 비교

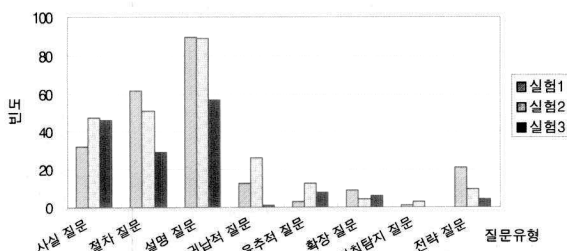


그림 2 비교집단의 탐구 주제별 질문 빈도 비교

같다.

실험집단의 탐구주제별 질문 빈도 분석을 보면, 설명질문의 빈도가 가장 높게 나타났을 뿐 아니라 설명질문의 빈도는 실험 주저에 따라 거의 유사하게 나타났다. 설명질문은 탐구 과정에서 원인, 원리 등을 이해하고자 설명을 구하는 질문으로서 인과관계를 파악하기 위한 것이므로(Chin & Chia, 2004), 특히 실험 결과를 해석하여 결론을 도출하는 사고과정과 관련된다. 따라서 학생들이 개방적 탐구활동을 수행하는 동안 인과적 사고가 가장 많이 이루어지고 있다고 할 수 있으며, 실제로 학생들의 질문 내용을 통해 실험 결과를 해석하고 결론을 도출하기 위한 사고가 특히 많이 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

그리고 개방도가 높아질수록 변칙탐지 질문과 전략 질문의 빈도가 높아지는 경향이 분명하게 드러났다. 탐구의 개방도가 높아질수록 탐구를 하는데 정해진 방법이 없기 때문에 학생들은 자신들의 연구문제를 설정한 후 탐구방법을 고안하고 독립적인 탐구를 해야 하고(Chin & Chia, 2005), 그 과정에서 복잡한 변인통제와 다양한 관찰 및 간섭변인을 경험하게 된다. 따라서 실험설계 시 예상했던 것과는 다른 실험 결과, 즉 변칙데이터를 얻게 될 가능성이 높아지는 것으로 보인다. 다음은 실험집단의 실험 3에서 나타난 변칙탐지 질문의 예시이다(표 7).

또한 전략질문의 빈도가 높다는 것은 자신들이 설계한 실험방법에 대한 반성적 사고를 많이 하는 것을 의미한다. 이러한 반성적 사고는 자신들의 아이디어에 대해 보다 더 비판적으로 생각하게 하여(Chin & Chia, 2006), 자신들의 실험 설계에 대한 타당성과 신뢰성을 검토하게 하고 나아가 개선된 실험 아이디어로 발전될 수 있다. 이는 덜 구조화된 문제를 해결해나가는 데 있

표 7

실험집단에서 제기된 변칙탐지 질문예시(실험 3)

연구문제	실험방법	변칙 탐지 질문
무의 부위별 단백질 소화효소의 활성화도 조사	무의 각 부위별(뿌리, 줄기, 잎)로 즙을 낸 것을 계란 흰자에 넣고 하루 동안 방치한 후 뷰렛반응으로 결과 측정	뿌리의 효소 활성이 가장 높을 것으로 예상하였으나 가장 적게 나왔다. 무를 먹 는 것은 소화효소 기능 때문이 아닌가?
껍질의 유무에 따른 카탈라아제 함량에 대한 고찰	사과, 배, 오이의 껍질을 깠 것과 안 깠 것 을 갈아서 만든 즙을 같은 부피씩 비커에 넣고, 과산화수소와 반응시켜 발생하는 산 소의 양을 수상치환으로 측정	껍질이 물질대사가 활발하지 않을 것 같 은데 왜 카탈라아제가 더 많은가?
pH에 따른 단백질 분해효소의 활성화도 비교	다양한 pH의 과인에플 즙을 계란 흰자에 넣은 후 뷰렛반응으로 결과 측정	왜 우리 실험에서는 뷰렛반응의 색깔이 $\text{CuSO}_4 : \text{NaOH}$ 를 1:5로 하였을 때보다 5:14 로 하였을 때 색깔이 더 뚜렷이 구분되 었는가?

어서 질문이 학생들의 사고를 스톱하고 지식을 생산적으로 사용하도록 하며, 비교, 설명, 적용, 반성과 같은 인지적인 사고로 유도함으로써 적절한 답을 찾도록 한다는 Chinn과 Chia(2006)의 연구결과와 일치한다.

한편, 귀납적 질문과 유추적 질문의 빈도는 설명적 질문의 빈도에 비해 매우 낮았는데, 실험집단에서 실험의 개방도가 높아짐에 따라 큰 차이가 없었고 오히려 약간 감소하는 추세를 보였다. 그러나 비교집단의 결과(그림 2)에서 보면 귀납적 질문과 유추적 질문이 실험1 보다는 실험2에서 빈도가 높게 나타났고, 실험 3에서 오히려 감소한 것으로 보아, 실험집단에서 나타난 이러한 경향은 개방도와 관련된 것이라기보다는 탐구 주제와 관련된 특성으로 보인다. 즉, 실험 1은 개방도는 낮지만 삼투 현상에 대한 관찰에서 학생들의 사고가 촉진된 것으로 보이며, 실험 2에서는 비유모델을 사용하여 감자의 삼투압을 간접적으로 측정해야 하기 때문에 학생들로 하여금 사고를 더 많이 요구하고 그 과정에서 귀납적 사고와 유추적 사고가 촉진된 것으로 보인다. 이러한 결과는 탐구과정에서 귀납적 사고와 유추적 사고를 이끌어내기 위해서는 이에 적합한 탐구주제가 요구된다고 해석할 수 있다. 또한 학생들에게 실험결과로부터 추론하는 과정을 경험하도록 함으로써 이러한 사고 능력이 배양되므로(권용주 등, 2003), 이를 위한 교수전략이 추가적으로 요구된다고 할 수 있겠다.

이외에 흥미로운 점은 실험 3에서 정보 질문의 비율이 높아진 점이다. 이것은 자신들의 연구문제로 실험을 수행함에 따라 실험을 설계하는 것과 관련된 지식이나 정보에 대한 요구가 많아진 것에 기인하는 것으로 보이며, 확장질문의 빈도가 높은 것도 같은 맥락으로 해석할 수 있다.

2. 개방적 탐탐구 활동에서 제기된 질문에서 나타나는 인식론적 특성

실험집단의 학생들이 탐구를 수행하면서 제기한 질문을 분석해본 결과 참과학의 인식론을 반영하는 질문들이 비교집단보다 더 많이 발견되었다. 참과학의 인식론은 연구의 목적, 이론-데이터 통합, 방법의 이론의존성, 변칙데이터에 대한 반응, 추론의 본성, 지식의 사회적 구성 차원에서 그 특징을 발견할 수 있다(Chinn & Malhotra, 2002). 이 가운데 개방적 탐탐구 활동을 수행한 학생들의 질문에서 과학적 방법, 변칙데이터, 추론의 불확실성과 관련된 인식론적 특성을 발견할 수 있었다.

1) 방법의 타당성과 신뢰성에 대한 의문

참과학의 인식론적 특성의 한 가지는 방법이 부분적으로 이론 의존적이라는 것이다. 따라서 과학자들은 방법의 신뢰성에 관심을 가지며 자신들의 고안한 연구 방법을 타당화하기 위해 노력한다(Chinn & Malhotra, 2002). 개방적 탐탐구 활동을 수행한 학생들의 질문 가운데 자신들이 설계한 탐구 방법에 대한 의문을 나타내는 질문들이 발견되어, 방법에 대한 비판적인 사고가 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다. 다음은 실험집단의 학생들이 제기한 탐구 방법의 타당성이나 신뢰성에 대한 의문을 나타내는 질문의 예시이다.

- 증류수 대신 낮은 농도의 용액으로 실험해야 정확한 계산을 할 수 있지 않을까? (삼투실험)
- 등장액을 구할 때 질량 변화량이 0인 것을 내삽해서 구하는 것이 옳은가? 범위로 나타내야 하지 않을까? (감자삼투압 측정)
- 반복실험을 하여 상관관계를 추론해야 하지 않을까? (효소 실험)

이러한 질문은 실험집단에서 18개(3.05%)로 비교집단의 9개(1.44%)보다 많이 나타나 개방적 참담구를 수행한 학생들이 자신들이 하고 있는 실험 방법에 대하여 반성적인 사고를 더 많이 하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 질문들은, 과학적 방법이 부분적으로 이론에 의존한다는 현대 인식론의 관점에서 과학자들이 탐구를 하는 동안 계속해서 방법의 신뢰성에 관심을 가지고 타당한 방법을 찾아나가는 특징이 개방적 참담구 과정에서도 나타나는 것을 암시한다. 대부분의 학교 탐구에서는 방법이 주어지므로 학생들은 방법의 타당성이나 신뢰성에 대해 생각할 필요가 없고, 결과적으로 학생들이 과학의 불확실성을 받아들이지 못하게 하고 과학을 끊임없이 검토·수정해 가야 하는 것으로 인식하는 것을 방해해 왔다(Chinn & Malhotra, 2002). 이에 비해 덜 구조화된 탐구에서는 스스로 탐구 방법을 고안하게 함으로써 학생들은 다양한 탐구 방법을 고려하게 되고(Chin & Chia, 2006) 자신들이 설계한 실험 방법의 타당성에 대해 생각해 볼 기회를 가지게 되므로, 개방적 참담구 활동을 수행하는 동안 학생들이 과학적 방법에 대해 바른 인식론을 가지게 될 가능성이 있다.

2) 변칙데이터에 대한 의문

학생들이 단순한 학교 탐구를 하는 경우에는 변칙 데이터를 경험할 기회가 거의 없거나 변칙 데이터를 얻는다 해도 대부분 이를 무시하는 반응을 나타낸다(Chinn & Malhotra, 2002). 이는 학생들이 단순한 학교탐구를 통해 데이터를 수용하거나 무시하는 판단을 상황에 따라 해야 한다는 것을 학습하지 못함을 의미한다. 본 연구에서도 비교집단의 질문에서는 세 실험을 통틀어 4개의 변칙탐지 질문이 나타났지만, 실험집단에서는 27개의 변칙탐지 질문이 나타났다. 다음은 실험집단의 변칙탐지 질문의 예시이다.

- 포도당이 정말 (셀로판막을) 투과했는가?
- 셀로판 튜브가 포도당을 어느 정도 투과시키는가?

이 질문들은 ‘반투과성막을 이용한 삼투 현상 관찰’ 실험 수행 시 실험 집단의 한 조에서 제기된 것으로, 이 조는 처음 실험 설계 시 용질의 종류가 달라도 농도가 같으면 삼투현상에 의한 물의 이동량이 같을 것이라고 예상하고 1M 설탕용액과 1M 포도당 용액으로 실험을 했다. 그러나 실험결과 설탕용액에서 물의 이동량이 더 많은 것을 발견하고 재실험을 실시하였으나 재

실험 결과도 똑같이 나오자 학생들은 실험결과를 설명하기 위해서는 포도당이 셀로판막을 통과해야만 한다는 결론을 내리면서 위 예시와 같은 질문을 제기하였다. 이 학생들은 자신들의 이상과 다른 결과를 해석하기 위해 포도당이 셀로판막을 통과한다는 새로운 가설을 세우고 이것을 받아들일 것인지를 고민하였고, 그 과정에서 인터넷 검색을 통해 포도당이 셀로판막을 통과한다는 사실을 찾아내었다. 이 예시는 학생들이 변칙 데이터에 대해 이를 무시하거나 거부하지 않고 일시적인 오류를 한 형태라고 할 수 있으며, 결국 관련된 이론을 찾아내어 데이터를 새롭게 해석한 것으로 볼 수 있다. 이는 일반적으로 알려진 변칙데이터에 대한 학생들의 반응, 즉 변칙데이터를 무시하는(Chinn & Malhotra, 2002) 것과는 달리 과학자들의 참담구 과정에서 나타나는 변칙데이터에 대한 반응과 유사한 반응을 보여주는 것으로서 학생들이 참담구의 인식론에 근접해 가고 있음을 알 수 있었다. 이에 비해 비교집단에서는 약간의 변칙 탐지 질문이 나타났으나 무시하고 지나치는 전형적인 반응을 보였음을 보고서를 통해 확인할 수 있었다.

3) 추론의 불확실성에 대한 의문

알려진 내용을 확인하는 형태로 진행되는 학교 탐구와 달리 개방적 참담구에서는 학생 자신들이 설정한 연구문제로 탐구를 하기 때문에 답이 정해져 있지 않다. 따라서 학생들은 가설을 수립하고 이를 검증하기 위한 실험을 해야 하며 실험에서 얻어진 데이터로부터 이론을 생성해야 하는데, 이것은 이론적 모델의 개발과 수정을 목표로 하는 과학자들의 탐구와 일치하는 것이다(Chinn & Malhotra, 2002). 이 과정에서 학생들은 정확한 답을 알 수 없으므로 자신들이 고안한 실험 방법뿐만 아니라 데이터로부터 결론을 도출하는 과정에서도 타당성에 대해 계속해서 생각해야만 한다. 다음은 실험집단 학생들의 질문에서 발견된 이러한 사고를 반영하는 질문들의 예이다.

- 대조군을 어떻게 설정해야 하는가?(삼투현상 관찰)
- 감자와 등장액인 용액을 그래프에서 찾았는데 그 값이 정확한 값이리라고 할 수 있을까? (감자삼투압 측정)
- 과산화수소를 분해하는 효소가 카탈라아제 외에 더 있다면 과연 우리가 얻은 데이터가 옳은 것이라고 할 수 있을까? (효소 실험-야채의 껍질 유무에 따른 카탈라아제 함량 비교)

- 세포가 분열할 때 과산화수소가 상대적으로 많이 발생하여 카탈라아제가 많이 존재한다는 우리의 가정이 맞을까? (효소 실험-식물체의 부위별 물질 대사량 비교; 카탈라아제에 의한 과산화수소 분해량 비교)
- 뷰렛반응을 확인하기 전에 계란 흰자만을 포함한 시험관을 따로 설정해서 대조군으로 확인해야 되지 않을까? (효소실험)

이 질문들은 대조군이 적절하게 설정되었는지, 데이터가 의미있는 결론을 끌어내기에 충분한지, 일반화가 신뢰성 있게 이루어졌는지, 다른 연구 결과들과 조화를 이룰 수 있는지 등 과학적 추론의 본성(Chinn & Malhotra, 2002)과 관련되는 질문들이다. 특히 개방도가 높은 실험 3에서 ‘추론의 불확실성’과 관련된 질문이 집중적으로 나타났다는 것이 특징적인데, 개방도가 높을수록 추론과 관련된 질문이 가장 많이 나타난 것은 복잡한 변인 통제, 자신들이 설계한 실험 방법의 타당성, 측정의 신뢰성 및 데이터의 불확실성 등에 대한 경험과 관련이 있다고 생각된다. 이는 학생들이 탐구를 설계하고 수행하는 과정에서 이러한 경험하였음을 암시하며, 이러한 경험을 통해 추론의 불확실성을 이해하기 시작한 것으로 보인다. 따라서 개방적 탐탐구 활동을 수행하는 동안 학생들은 기존의 학교 탐구에서 경험하기 어려운 참과학의 인지과정을 통해 과학적 추론의 복잡성, 불확실성, 관찰의 이론의존성 등 참과학의 인식론을 이해하게 될 가능성이 높은 것으로 생각된다.

IV. 결론 및 제언

탐구 기반 학습은 과학교육에서 매우 중요한 위치를 차지해왔지만 학교 현장에서는 주로 단순 탐구 기능만 강조해 왔고(Roychoudhury & Roth, 1996), 이에 따라 학생들이 과학적 추론을 단순하고, 확실하고, 알고리즘적인 것으로 인식하게 될 우려가 제기되고 있다. 이것은 학교 탐구에서 요구되는 인지과정이 실제 과학자들의 탐구에서 사용되는 것과 다르기 때문이며, 이러한 차이는 인식론의 차이에서 기인한다. 따라서 실제 과학의 인지과정과 인식론을 좀 더 잘 반영하는 새로운 학교 탐구 과정을 개발할 필요성이 제안되고 왔다(AAA, 1996; Chinn & Malhotra, 2002; Woolnough, 2000). 하지만 실제 과학의 복잡성으로 인해 학교 현장에 적용하는 데에는 어려움이 많다. 본 연구에서는 학교 현장에서의 실행을 목표로 개발된 ‘개방적 탐탐

구 활동’ 수행에 따른 인식론적 효과를 알아보기 위하여 탐구 수행 시 학생들이 제시한 질문의 유형별 빈도 분석을 통해 학생들의 인지적 추론 특성을 살펴보았다.

서울시 소재 과학고등학교 1학년 학생들을 대상으로 비교집단($n=43$)과 실험집단($n=43$)으로 나누어, 각각 전통적인 학교 탐구와 개방적 탐탐구를 수행하도록 하였다. 탐구과정에서 제기된 질문들을 보고서에 기록하도록 한 후 두 집단의 학생들의 질문을 비교한 결과, 실험집단에서 사고 질문의 빈도가 높게 나타났다. 사고 질문의 세부 유형에서 두 집단 간 유의미한 차이가 나타났는데($p<.01$), 실험집단에서 실험과 관련된 내용으로부터 사고를 확장시키는 질문, 변칙 데이터에 대한 질문, 자신들이 고안한 실험방법에 대한 반성적인 사고를 반영하는 질문의 빈도가 높게 나타났다. 이것은 개방적 탐탐구 활동이 학생들의 사고를 촉진시키고, 여러 분야의 관련된 지식을 연결시킬 기회를 제공하며, 반성적인 사고를 통해 과학적 방법이나 추론의 불확실성을 경험하게 할 가능성을 암시한다. 또한 실험집단의 질문 가운데 방법의 타당성과 신뢰성에 대한 의문, 변칙데이터에 대한 의문, 추론의 불확실성에 대한 의문을 제기한 질문들이 발견되어, 학생들이 복잡하고, 불확실하며, 비알고리즘적인 실제 과학의 특성을 이해하게 될 가능성이 있음을 보여주었다. 이러한 사실은 개방적 탐탐구 활동이 과학의 인식론적 특성에 대해 명시적으로 가르치는 것은 아니지만, 과학의 인식론을 학습하는데 효과적인 교수전략이 될 수 있음을 의미하는 것으로, 참과학 탐구 수행을 통한 과학적 인식론에 대한 학습효과를 확인할 수 있었다. 한편, 탐구주제에 따른 질문 비교에서는 주제에 관계없이 설명질문이 일정한 빈도로 나타났으며 개방도가 높아질수록 변칙탐지 질문과 전략질문의 빈도가 높아지는 경향이 발견되었다. 하지만 귀납적 질문과 유추적 질문의 경우에는 탐구 주제와 관련이 있는 것으로 보이므로, 개방적 탐탐구 활동에서 적절한 탐구 주제를 선택하는 것이 요구된다고 할 수 있다.

본 연구는 과학고등학교 학생들을 연구대상으로 짧은 기간 동안 이루어진 것이므로, 연구 결과를 일반화시키는 데에는 제한점이 있을 수 있다. 본 연구 결과를 토대로 다음과 같은 후속 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다. 첫째, 개방적 탐탐구 활동에서 학생들의 사고가 촉진되었으므로, 개방적 탐탐구 활동의 어떤 요소가 학생들의 사고를 촉진시키는지 알아볼 필요가 있다. 둘째, 질문을 통해 드러나는 학생들의 사고 특성이 탐구 수행과 어떠한 관련이 있는지, 질문이 탐구수

행에서 어떻게 스캐폴딩 역할을 하는지에 대한 연구가 이루어질 필요가 있다. 셋째, 개방적 참담구 활동 수행이 학생들의 과학에 대한 인식론을 발달시키는데 어떻게 관련이 되는지 알아볼 필요가 있다.

국문 요약

이 연구에서는 과학자들의 연구 수행에서 나타나는 인식론적 특성을 반영한 개방적 참담구 활동을 수행하도록 하고, 이 과정에서 학생들이 실제로 과학의 인지 과정을 경험하면서 참담구 인식론을 반영한 추론 특성을 보이는지를 알아보고자 하였다.

서울시 소재 과학고등학교 1학년 학생 86명을 연구 대상으로 하였으며, 4주 동안 비교집단 2개 학급의 학생들은 전통적인 학교 탐구 활동을 수행하게 하고 실험집단 2개 학급의 학생들은 개방적 참담구 활동을 수행하게 한 후 학생들이 제기한 질문을 비교하였다. 그 결과 두 집단의 학생들이 제기한 질문의 빈도는 크게 차이가 없었으나, 질문의 유형에는 차이가 있었다. 실험집단에서 사고 질문의 빈도가 높게 나타났고, 질문의 세부 유형에서도 비교집단 학생들의 질문과 유의미한 차이를 보였다($p < .01$) 특히 사고를 확장시키는 질문과 변칙 데이터에 대한 질문의 빈도에서 큰 차이가 있었다. 또한 실험 집단에서 제기된 질문 가운데에는 과학적 방법, 변칙 데이터, 추론의 불확실성과 같은 참과학의 인식론을 반영하는 질문들이 발견되어 개방적 참담구 수행에서 학생들이 과학적 인식론을 이해하게 될 가능성을 확인할 수 있었다. 그리고 탐구주제에 따른 질문 비교에서 개방도가 높아질수록 변칙탐지 질문과 전략질문의 빈도가 높아지는 경향이 있었고, 귀납적 질문과 유추적 질문의 경우에는 개방도보다는 탐구 주제와 관련이 있는 것으로 나타났다.

참고 문헌

- 권용주, 최상주, 박윤복, 정진수 (2003). 대학생들의 귀납적 탐구에서 나타난 과학적 사고의 유형과 과정. 한국과학교육학회지, 23(3), 286-298.
- 김은숙, 윤혜경 (1996). 제1, 2회 학생 과학 공동 탐구 토론회의 종합적 평가. 한국과학교육학회지, 16(4), 376-388.
- 김희경 (2003). 중학생의 동료 간 논변활동을 강조한 개방적 물리탐구: 조건, 특징, 역할을 중심으로. 서울대학교 박사 학위 논문.
- 김희경, 송진웅 (2003). 과학실험의 목적에 대한 중학생의 인식 조사. 한국과학교육학회지, 23(3), 254-264.
- 이명숙 (2003). 중학교 과학수업에서 학생의 질문에 영향을 미치는 요인과 질문의 유형. 서울대학교 대학원 석사학위 논문.
- 이명숙, 조광희, 송진웅 (2004). 소집단 실험활동에서 중학생 질문-응답의 유형과 빈도. 한국과학교육학회지, 24(2), 277-286.
- Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L. & Lederman, N. G. (1998). The nature of science and instructional practice: Making the unnatural natural. *Science Education*, 82(4), 417-436.
- American Association for the Advancement of Science (1993). *Benchmarks for science literacy: Project 2061*. New York: Oxford University Press.
- Bell, R., Blair, L. M., Crawford, N. A. & Lederman, N. G. (2003). Just do it! Impact of a Science Apprenticeship Program on High School Students' Understandings of the Nature of Science and Scientific Inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(5), 487-507.
- Berg, C. A., Bergenhohl, V. C. & Lundberg, B. K. (2003). Benefiting from an open-ended experiment? A comparison of attitudes to, and outcomes of, an expository versus an open-inquiry version of the same experiment. *International Journal of Science Education*, 25(3), 351-372.
- Chiappetta, E. L. & Koballa, T. R. (2006). *Science Instruction in the Middle and Secondary Schools*. NJ: Pearson Merrill Prentice Hall, pp. 200-222.
- Chin, C., Brown, D. E. & Bruce, B. C. (2002). Student-generating questions: a meaningful aspect of learning in science. *International Journal of Science Education*, 24(5), 521-549.
- Chin, C. & Chia, L. (2004). Problem-Based Learning: Using Students' Questions to Drive Knowledge Construction. *Science Education*, 88(5), 707-727.
- Chin, C. & Chia, L. (2006). Problem-Based Learning: Using Ill-Structured Problems in Biology Project Work. *Science Education*, 90(1), 44-67.
- Chinn, C. A. & Brewer, W. F. (1998). Model of Data: A Theory of How People Evaluate Data. *Cognition and Instruction*, 19(3), 323-393.
- Chinn, C. A. & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically Authentic Inquiry in Schools: A Theoretical Framework for Evaluating Inquiry Tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218.
- Cuccio-Schirripa, S. & Steiner, H. E. (2000). Enhancement and Analysis of Science Question Level for Middle School Students. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(2), 210-224.
- Dillon, J. T. (1982). The Effect of the questions in education and other enterprise. *Journal of Curriculum Studies*, 14(2), 127-152.

- Dori, Y. J. & Herscovitz, O. (1999). Question-posing capability as an alternative evaluation method: Analysis of an environmental case study. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(4), 411-430.
- Driver, R., Leach, J., Miller, R. & Scott, P. (1996). *Young People's Image of science*. Open University Press.
- Hamers, J. H., de Koning, E. & Sijtsma, K. (1998). Inductive reasoning in third grade: Intervention promises and constraints. *Contemporary Educational Psychology*, 23(2), 132-148.
- Hodson, D. (2001). 과학자들이 정말 이렇게 할까? - 학교 실험실 안팎의 참된 과학을 찾아서, 과학실험실습 교육 (황성원 역, pp. 111-129). 서울: 시그마프레스. (원저 1998 출판).
- Lee, H. & Songer, N. B. (2003). Making authentic science accessible to students. *International Journal of Science Education*, 25(8), 923-948.
- Lederman, N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331-359.
- Marbach-Ad, G. & Sokolove, P. G. (2000). Can undergraduate biology student learn to ask higher level question? *Journal of Research in Science Teaching*, 37(8), 854-870.
- Maskill, R. & de Jesus, H. P. (1997). Pupil's questions, alternative frameworks and the design of science teaching. *International Journal of Science Education*, 19(7), 781-799.
- National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*. Washington, DC: National Academy Press.
- Roychoudhury, A. & Roth, W. (1996). Interactions in an open-inquiry physics laboratory. *International Journal of Science Education*, 18(4), 423-445.
- Sandoval, W. A. & Reiser, B. (2004). Explanation-Driven Inquiry: Integrating Conceptual and Epistemic Scaffolds for Scientific Inquiry. *Science Education*, 88(3), 345-372.
- Scardamalia, M. & Bereiter, C. (1992). Text-based and knowledge-based questioning by children. *Cognition and Instruction*, 9(3), 177-199.
- White, R. T. (1996). The link between the laboratory and learning. *International Journal of Science Education*, 18(7), 761-774.
- Windschitl, M. (2003). Inquiry projects in Science Teacher Education: What Can Investigative Experiences Reveal About Teacher Thinking and Eventual Classroom Practice? *Science Education*, 87(1), 112-143.
- Zion, M., Slezak, M., Shapira, D., Link, E., Bashan, N., Brumer, M., Orian, T., Nussinowitz, R., Court, D., Agrest, B., Mendelovici, R. & Valanides, N. (2004). Dynamic, Open Inquiry in Biology Learning. *Science Education*, 88(5), 728-753.